

положения шпинделя станка запястье несет универсальное захватное устройство «Фанук». Один ПР модели 1 обеспечивает установку (с прижимом к патрону) и сьем детали на одном станке с ЧПУ, а также замену инструмента (на фрезерных и сверлильных станках) и удаление стружки, штабелирует обработанные изделия и т. д. Один оператор может обслуживать до десяти таких комплексов «станок — робот».

Привнесение методов робототехники в станкостроение позволяет получить адаптивные машины с новыми качествами, где средства адаптации направлены не только на управление режущим или мерительным инструментом, регулирование частоты вращения шпинделя, а также и на оптимизацию базирования заготовки, переналадку соответственно изменениям ее конструкции (в серийном производстве), на контроль, нередко совмещаемый со сборкой, и т. д.

Такая тенденция может послужить стимулом дальнейшего повышения производительности оборудования и качества изделий, предпосылкой комплексной автоматизации машиностроительного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Barash M. M. Integrated machining systems with workpiece handling. Nottingham, 1976, VI ISIR.

2. Мишкинд С. И. Перспективные направления развития робототехники. — «Оборудование с ЧПУ», 1977, вып. 3.
3. Цусия Е. Робот Hydro-Brain Kar-5000 для работы с тяжестями. — «Роботто», 1978, № 18.
4. Сугияма К. Автоматическая обработка контейнеров с использованием контактных датчиков. — «Роботто», 1978, № 18.
5. Нагао О. Установка для автоматической центровки (разметки) и черновой обработки крупногабаритных сварных изделий. — «Роботто», 1977, № 17.
6. Sugiyama K., Matsuzaki A. et al. Automatic container handling device with tactile sensor. Tokyo, 1977, VII ISIR.
7. Сагара Х. Промышленный робот для горизонтально-хонинговального станка. — «Роботто», 1977, № 15.
8. Охара Д. Манипулятор Shape-maker. — «Роботто», 1973, № 4.
9. Такэиси И., Норно С. Система для автоматического крепления кристаллов для транзисторов. — «Роботто», 1976, № 13.
10. Касиюка С. и др. Автоматизированная система для крепления проволочных выводов транзисторов с применением телевизионных камер. — «Роботто», 1976, № 13.
11. Ясуэ И., Кабаи Н. Автоматизация процесса сборки мощных транзисторов. — «Роботто», 1976, № 13.
12. Тангэ и др. Система автоматической сборки транзисторов. — «Роботто», 1976, № 13.
13. Inaba S. Flexible production system. — «Fujitsu Fanuc», 1976, ISPE.
14. Хадзиму И. Автоматическая механообрабатывающая система с роботом «Фанук» модели 1. — «Роботто», 1977, № 17.
15. Fanuc Robot and Fanuc mini-machining center. — «Fujitsu Fanuc», 1977.

## ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 007.52-229.7

И. П. ПАВЛЕНКО, канд. техн. наук (Кировоградский институт сельскохозяйственного машиностроения)

## Пальцевые захваты промышленных роботов

Универсальность ПР в значительной степени зависит от функциональных возможностей их захватов. Наиболее перспективными являются пальцевые захваты, позволяющие не только удерживать различные предметы, но и выполнять большое количество операционных движений. Отмеченные возможности захватов в основном зависят от количества пальцев и звеньев в пальцах, их кинематической подвижности и геометрических размеров.

Ниже рассматривается влияние геометрических параметров двухзвенных пальцевых захватов (рис. 1) на некоторые их захватные и операционные возможности. Оценка захватных возможностей пальцев выполнена на примерах удержания цилиндрических и плоских деталей. Максимальный радиус цилиндрических деталей  $R$ , которые можно захватить пальцами при произвольном угле контакта (захвата)  $\alpha$  второго звена с деталью, определяется из схемы (см. рис. 1, а) по формуле

$$R^3 + R^2 l_1 (1 + m) \operatorname{tg} \alpha - R l_1^2 m (2 - m) - l_1^3 m^2 \times \\ \times (1 - m) \operatorname{tg} \alpha = 0. \quad (1)$$

Решая полученное уравнение при частных значениях угла захвата  $\alpha$  и отношениях длин звеньев пальцев  $m = l_2/l_1$ , находим величину радиуса захватываемой детали. Результаты вычислений показаны на рис. 2, а, ось ординат которого представляет относительную величину радиуса захватываемых деталей:

$$K_R = \frac{R}{l_1 + l_2}.$$

Из графиков следует, что максимальный размер детали, которую можно захватывать пальцами, будет при  $m=0,5$ , т. е. когда длина первого звена пальца в два раза больше длины второго звена. Это условие имеет место при любых углах  $\alpha$ , в том числе и при  $\alpha=90^\circ$ , когда осуществляется переход к удержанию деталей одним пальцем. С уменьшением угла  $\alpha$  размер захватываемой детали увеличивается и при  $\alpha=0$  достигает максимальной величины. При этом значении угла  $\alpha$  формула радиуса захватываемой детали принимает вид

$$R = l_1 \sqrt{m(2 - m)}. \quad (2)$$

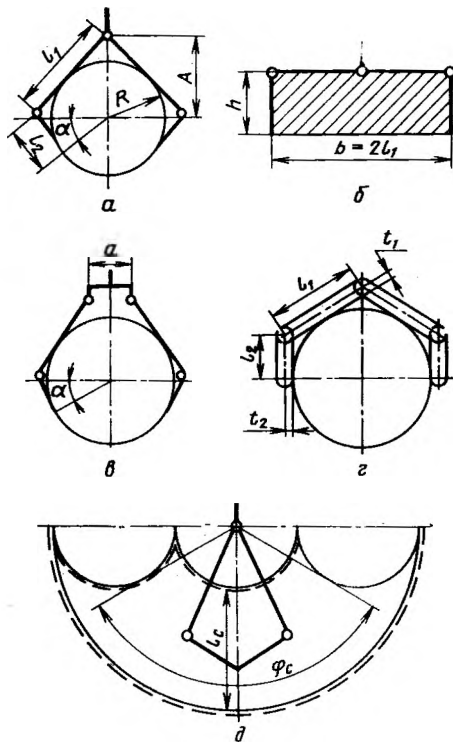


Рис. 1. Схемы двухзвенных пальцев захватов

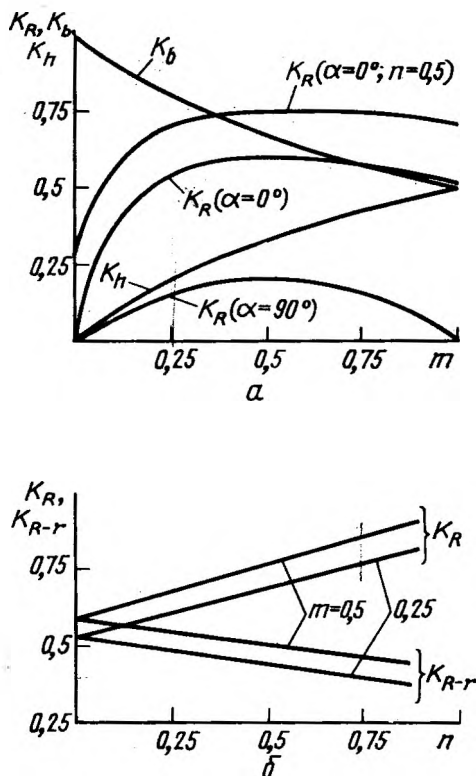


Рис. 2. Графики зависимостей  $K_R$ ,  $K_b$  и  $K_h$  от отношения ( $m$ ) длин звеньев пальцев

По формуле (2) можно при заданном размере детали и принятому коэффициенту  $m$  определять минимальную длину звеньев пальцев.

При захвате плоских деталей (см. рис. 1, б) максимальная ширина захвата  $b$  равна удвоенной

длине первого звена пальца. С увеличением отношения длин звеньев пальца ширина захвата уменьшается (см. рис. 2, а):

$$K_b = \frac{b}{2(l_1 + l_2)} = \frac{1}{1+m}. \quad (3)$$

При этих условиях максимальная высота захвата  $h$  равна длине  $l_2$ . Увеличение  $m$  ведет к увеличению высоты захвата:

$$K_h = \frac{h}{l_1 + l_2} = \frac{m}{1+m}. \quad (4)$$

Учитывая, что захватные возможности в основном определяются радиусом удерживаемых деталей цилиндрической формы и шириной захвата для плоских деталей, отношение длин звеньев пальцев нужно принимать близким к 0,5. Увеличение  $m$  ведет также к уменьшению расстояния между поверхностью захватываемой детали и опорной осью пальцев ( $A-R$ ), что усложняет конструктивную реализацию захватов (см. рис. 1, а).

В захватах, опорные оси пальцев которых не совпадают между собой (см. рис. 1, в), максимальный радиус захватываемых деталей при  $\alpha=0$  определяется из уравнения

$$R^3 - 0,5R^2a - Rml_1^2(2-m) - 0,5am^2l_1^2 = 0, \quad (5)$$

где  $a$  — расстояние между опорными осями пальцев.

Проведенный анализ зависимости радиуса захватываемых деталей ( $K_R$ ) от отношения длин звеньев  $m$  при различных расстояниях между опорными осями пальцев  $n=a/(l_1+l_2)$  показывает (см. рис. 2, а), что оптимальным и в этих условиях является отношение  $m=0,5$ . Увеличение расстояния между опорными осями пальцев (см. рис. 2, б) обеспечивает линейное увеличение размера захватываемых деталей ( $K_R$ ), а также ведет к появлению зоны нефиксированного захвата цилиндрических деталей с радиусом  $r \leq a/2$ . Диаметр фиксированного захвата будет равен разности максимального  $R$  и минимального  $r$  радиусов захватываемых деталей. Относительная величина этой разности  $K_{R-r} = \frac{R-r}{l_1+l_2}$  с увеличением  $n$  уменьшается.

Увеличение  $n$  от 0,25 до 0,5 ведет к интенсивному уменьшению расстояния между поверхностью детали и опорными осями пальцев.

Ширина захвата плоских деталей с увеличением  $n$  линейно возрастает. Для захвата деталей, ширина которых меньше расстояния между опорными осями пальцев  $a$ , необходим поворот второго звена пальца в обратную сторону по отношению к первому звену.

Влияние толщины звеньев пальцев на их захватные возможности рассмотрено на примере захвата с совпадающими опорными осями пальцев (рис. 1, г). Уравнение радиуса захватываемой детали имеет вид

$$R^2 + 2Rt_1 + t_1^2 - l_2(l_1c + l_1 - l_2) = 0, \quad (6)$$

где  $c = \frac{R+t_1}{R+t_2}$ ; ( $t_1, t_2$  — половина толщины звеньев пальца).

Величина  $c$  близка к единице. При  $c=1$ , а следовательно,  $t_1=t_2=t$ , получим:

$$R_1 = l_1 \sqrt{m(2-m)}, \quad (7)$$

откуда  $R=R_1-t$ .

Таким образом, толщина звеньев пальцев практически не влияет на приведенные выше зависимости, определяющие захватные возможности пальцев, а ведет только к уменьшению действительного размера удерживаемых деталей.

Многозвенность и высокая кинематическая подвижность пальцевых захватов позволяют им выполнять разнообразные операционные движения, среди которых основное место занимают пространственные перемещения и ориентирования предметов с помощью самих пальцев. Их выполнение обычно требует совместного или относительного перемещения пальцев.

Эти движения можно оценить по максимальным и условным средним поступательным и угловым, совместным и относительным перемещениям пальцев. Наиболее общие показатели, оценивающие эти возможности захватов, следующие:

условная средняя величина совместных поступательных перемещений концов пальцев

$$S_c = \frac{F_c}{F},$$

где  $F_c$  — величина зоны, в пределах которой могут совместно перемещаться концы пальцев. Для рассматриваемых двухзвенных пальцевых захватов при  $n=0$  и  $m=0,5$  (см. рис. 1, б) величина этой зоны отмечена жирной линией. Угол поворота всех звеньев пальцев принят равным  $180^\circ$ ;

$F$  — величина полной зоны, в пределах которой перемещаются пальцы;

условная средняя величина перемещения одного пальца относительно другого

$$S_0 = \frac{F_0}{F},$$

где  $F_0$  — величина зоны, в пределах которой один палец может перемещаться относительно другого (зона перемещения левого пальца относительно правого выделена пунктиром);

коэффициент максимальной величины совместного перемещения концов пальцев в радиальном направлении к середине захвата

$$K_c = \frac{l_c}{l_1 + l_2},$$

где  $l_c$  — максимальная величина совместного перемещения концов пальцев;

коэффициент максимальной величины перемещения одного пальца относительно другого

$$K_0 = \frac{l_0}{l_1 + l_2},$$

где  $l_0$  — максимальная величина перемещения одного пальца относительно другого;

коэффициент совместного качания концов пальцев:

$$K_\varphi = \frac{\varphi_c}{\varphi},$$

где  $\varphi_c$  — угол совместного качания концов пальцев;  $\varphi$  — полный угол, в пределах которого качаются пальцы захвата.

Величину коэффициента  $K_\varphi$  можно также определить при различных условиях, например качание концов пальцев при постоянной величине их совместного линейного перемещения (см. рис. 1, д) или при максимальном удалении концов пальцев и т. п.

Анализ изменения отмеченных показателей от величины  $m$  для схемы на рис. 1, д показывает, что наиболее приемлемым и в этих условиях следует считать отношение длин звеньев близкое к 0,5 (рис. 3, а). На этом рисунке зависимость  $K_\varphi$  приведена при качании концов пальцев с постоянной

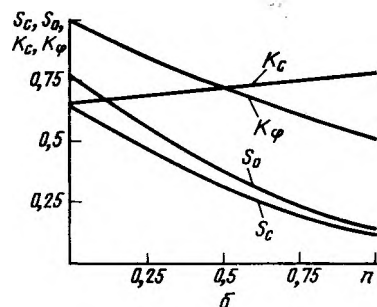
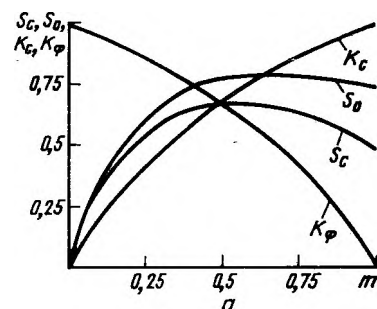


Рис. 3. Графики зависимостей  $K_R$  и  $K_R-r$  от расстояния между опорными осями пальцев

величиной их совместного перемещения. Указанное отношение  $m$  целесообразно принимать и для схем, опорные оси пальцев которых не совпадают. Увеличение расстояния между осями пальцев ведет к снижению основных операционных возможностей захватов, за исключением незначительного увеличения максимального совместного перемещения концов пальцев. Коэффициент  $K_\varphi$  в этом случае приведен при качании пальцев с максимальным их удалением, так как при несовпадающих опорных

осях пальцев возможная величина совместного перемещения концов пальцев с изменением их углового положения также изменяется. Все представленные на рисунке зависимости приведены для захвата с  $m=0,5$ .

УДК 621.9.015-187.4  
621.9.06-114-529  
62-21.002.5

Предложенные показатели захватных и операционных возможностей пальцев и анализ некоторых схем позволяют обоснованно выбирать геометрические параметры захватов в зависимости от их функционального назначения.

В. Л. ПЕТРУХИН, В. А. БРАУЭР, А. Г. СХИРТЛАДЗЕ,  
канд. техн. наук (Мосстанкин)

## Повышение точности обработки корпусных деталей на многоцелевых станках с ЧПУ автоматизированных производств

Обработка корпусных деталей в условиях автоматизированных производств (АП) характеризуется использованием разнообразных спутников — базовых, служащих для обработки базовых поверхностей заготовки; основных, служащих для базирования и закрепления (через специальные переходные базовые элементы — адаптеры), а также транспортирования заготовок в ходе технологического процесса обработки остальных поверхностей. Кроме того, используются специальные устройства, позиционные приспособления [1], устанавливаемые на рабочие столы станков, и другая технологическая оснастка [2, 3].

Опыт эксплуатации подобных АП показывает, что наиболее трудоемкой задачей, решаемой при проектировании и организации технологических процессов, является достижение заданной точности обработки изделий. Точностные параметры, обусловленные служебным назначением деталей, определяются размерными связями, которые возникают и формируются на различных этапах технологического процесса. В правильности формирования размерных связей заключается резерв, позволяющий повысить точность и производительность обработки деталей на АП из многоцелевых станков (МЦС) с ЧПУ.

Исследование, проведенное на кафедре «Технология машиностроения» Мосстанкина, позволило выявить и проанализировать процесс формирования размерных связей и влияние этого процесса на обеспечение точностных параметров корпусных деталей при их обработке на указанных производствах. Исследование проводилось с целью поиска возможных путей повышения точности расстояний и поворотов обрабатываемых поверхностей детали относительно ее технологических баз и разработки средств, реализующих найденные пути. При анализе использовались теория базирования и теория размерных цепей [4].

По каждому техническому требованию, предъявляемому к обрабатываемой детали, например линейному размеру или относительному повороту поверхностей, определялось место в технологическом процессе, в котором это требование (или точностной параметр) полностью выполняется. Далее,

при переходе от этого места к началу технологического процесса обработки вскрывались этапы формирования этого параметра и размерные связи, возникающие на них. Такой подход позволил определить состав технологических задач, которые необходимо решать для обеспечения требований, заданных чертежом детали, установить качественный и количественный состав погрешностей, которые сопровождают данный процесс, выявить доминирующие погрешности и определить способы их компенсации.

Например, процесс формирования точности расстояния от обрабатываемой поверхности корпусной детали до ее установочной технологической базы  $K_\Delta$  и относительного поворота этой же поверхности к той же базе  $\lambda_\Delta$  (рис. 1) определяется размерными связями, формируемыми на следую-

